

DIAGNÓSTICO DAS DETERIORAÇÕES DO BETÃO DO VIADUTO DO TERMINAL DE PETROLEIROS

Andreia Mota Miranda (1); Madalena Teles (2)

(1) Mestre em Engenharia Civil, Novopca Construtores Associados S.A., Rua do Sobreiro nº332
4460-429 Senhora da Hora, Portugal, telefone +351939312769, fax. +351229568246.

e-mail: andreiamotamiranda@gmail.com

(2) Professora Associada Aposentada, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Rua dr.
Roberto Frias s/n, 4200-465 Porto, Portugal, telefone +351225081915/1613, fax +351225081446.

e-mail: mteles@fe.up.pt

Tema: Vida Útil e Patologias em Edificações.

RESUMO

O objectivo do presente trabalho é o de fazer um diagnóstico das deteriorações do betão do viaduto do Terminal de Petroleiros, localizado no porto de Leixões.

Após a recolha e análise de toda a informação sobre as características dos materiais usados nos diferentes betões e suas composições e propriedades, foram efectuadas várias visitas ao viaduto, para inspecção visual da estrutura, levantamento fotográfico das anomalias encontradas e extracção de amostras representativas quer do betão aparentemente não deteriorado quer do betão visivelmente deteriorado.

Do betão aparentemente não deteriorado realizaram-se ensaios de determinação da resistência à compressão, da porosidade às 48 horas, da profundidade de carbonatação e da penetração de cloretos. Fez-se também um estudo petrográfico detalhado, quer do betão aparentemente não deteriorado, quer do betão visivelmente deteriorado.

Finalmente, com base em toda a informação faz-se o diagnóstico das deteriorações.

PALAVRAS-CHAVE: deteriorações do betão, petrografia, durabilidade.

ABSTRACT: *The aim of this work is to make a diagnosis of the deterioration of the concrete of the “Terminal de Petroleiros” viaduct, located in Leixões harbour. After collecting and analyzing all the information about the characteristics of different materials used in concrete and its composition and properties, a visual inspection of the structure was made, and all relevant evidence of deterioration was recorded and photographed. Some samples of apparently non-deteriorated and visually deteriorated concrete were extracted for analysis. The carbonation and chloride ingress were determined in samples of concrete apparently non-deteriorated as well as compressive strength, porosity at 48 hours. All samples were observed and analyzed by electronic microscopy..*

KEY-WORDS: *concrete deterioration, petrography, durability.*

1. INTRODUÇÃO

O viaduto do Terminal de Petroleiros localiza-se no porto de Leixões, a maior infraestrutura portuária do norte de Portugal. Está implantado sobre o mar, faz parte do Terminal de Petroleiros e localiza-se na curva do molhe norte (Figura 1).

O viaduto do Terminal de Petroleiros tem cerca de 400 m de comprimento e dois postos de acostagem B e C, com fundos de 14 m, que efectuem a ligação dos petroleiros aos oleodutos. É constituído por uma estrutura porticada de tubulões e vigas, que apoia nos extremos em dois maciços de betão com cofragem de estacas-prancha. Esta estrutura suporta os oleodutos e uma laje vigada com pavimento betuminoso, que permite o acesso de automóvel aos postos de acostagem.

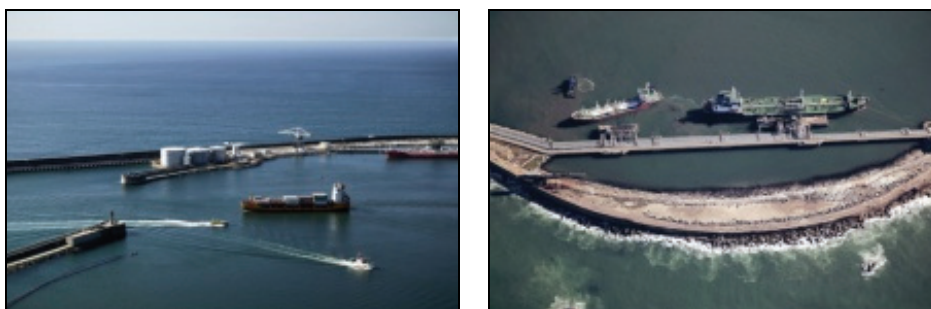


Figura 1 – Localização do viaduto do Terminal de Petroleiros

Esta obra foi realizada entre 1966 e 1969, e em Setembro de 1993, durante uma inspecção efectuada pelo Gabinete de Estruturas e Geotecnia, foi detectado um enfraquecimento estrutural devido à degradação do betão da estrutura, localizada num ambiente de extrema agressividade e sujeita, quer à acção mecânica provocada pelas ondas e marés, quer à acção mecânica provocada pela acostagem dos petroleiros. Constatou-se que as avarias mais graves se localizavam predominantemente nas vigas longitudinais e consistiam na existência de fissuras muito abertas e com continuidade nas duas faces da viga, e na corrosão das armaduras quer ordinárias quer dos cabos de pré-esforço revelada pelas manchas acastanhadas e destacamentos de betão (Matos, 2003).

Entre Junho de 1995 e Junho de 1998 foi efectuada uma obra de reabilitação com o objectivo de assegurar a recuperação de um nível significativo de segurança sem, no entanto, atingir os exigidos pelos regulamentos na altura em vigor. Segundo GEG (1993), esta intervenção deveria incidir, essencialmente, na substituição dos aparelhos de apoio e das juntas e tratamento dos elementos de betão danificados, que consistiu na limpeza do betão e armaduras, pintura das armaduras com um produto anti-corrosivo, aplicação de um reboco de protecção e de uma pintura.

Em 2005, decorridos sete anos após a última reabilitação, as vigas do viaduto do Terminal de Petroleiros mostravam sinais significativos de corrosão (Figura 2). Estas vigas, tal como em 1993, apresentavam o mesmo tipo e, aproximadamente, o mesmo número de avarias.



Figura 2 – Fissura ao longo do cabo de pré-esforço e manchas acastanhadas de vigas do viaduto do Terminal de Petroleiros.

Neste trabalho faz-se um estudo diagnóstico do betão deste viaduto.

Após a recolha e análise de toda a informação sobre as características dos materiais usados nos diferentes betões e suas composições e propriedades, foram efectuadas várias visitas ao viaduto, para inspecção visual da estrutura, levantamento fotográfico das anomalias encontradas e extracção de amostras representativas quer do betão aparentemente não deteriorado quer do betão visivelmente deteriorado.

2. ANÁLISE EXPERIMENTAL

2.1 Ensaios Físicos e Químicos

Do betão aparentemente não deteriorado retiraram-se quatro carotes (TP1, TP2, TP3 e TP4) de vigas transversais e realizaram-se ensaios para a determinação da resistência à compressão, da porosidade às 48 horas, da profundidade de carbonatação e da penetração de cloretos. Fez-se também um estudo petrográfico detalhado, quer do betão aparentemente não deteriorado, quer do betão visivelmente deteriorado.

Finalmente, com base em toda a informação faz-se o diagnóstico das deteriorações.

Determinou-se a resistência à compressão média de dois provetes obtidos de uma carote (TP4), segundo a norma de ensaio NP EN 12390-3 (2003), e foi feita a conversão em tensão em cubos de 15 cm de aresta (Gonçalves, 1987), tendo-se obtido o valor médio de 53,8 MPa. Este valor é muito semelhante ao valor obtido nos ensaios realizados durante a construção da obra.

A porosidade às 48 horas determinada na carote TP3 segundo a metodologia proposta pelo Laboratoire de Pétrophysique do Centre de Géochimie de la Surface de Strasbourg (Mertz, 1991; Hammecker, 1993) foi de 6,87%, valor compatível com um betão de boa qualidade.

A determinação da profundidade de carbonatação foi realizada recorrendo ao uso de uma solução alcoólica de fenolftaleína a 1%, tendo-se concluído que a penetração da carbonatação era insignificante nos dois tarolos. O mesmo aconteceu com a determinação do teor em cloretos a 5 mm de profundidade (Mota-Miranda, 2006). Os resultados destes ensaios apresentam-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados da determinação da profundidade de carbonatação e do teor em cloretos.

Localização	Profundidade carbonatação (mm)	Teor de cloretos na massa betão (%)	Teor de cloretos na massa de cimento (%)	Teor de cloretos máximo na massa cimento permitido pela NP EN 206 (2005) (%)
Viga transversal VT4 (TP1/TP3)	≈ 0	0,03	0,18	0,10
Viga transversal VT6 (TP2)	≈ 0	0,04	0,24	0,10

2.2 Estudo Petrográfico

Nas observações por microscopia electrónica de varrimento (MEV), realizadas no Centro de Materiais da Universidade do Porto (CEMUP), recorreu-se a um microscópio, modelo Jeol JSM-6301F, equipado com microanálise por raios-X (Oxford Inca Energy 350). As amostras foram revestidas a ouro e observadas e analisadas por electrões secundários a 10 e 15 keV e por períodos de tempo útil de 60 segundos.

Para facilitar a análise global das amostras estudadas por MEV apresentam-se na Tabela 2 os principais compostos identificados em todas as amostras, excluindo os agregados.

Tabela 2 – Designação, tipo e localização das amostras extraídas do viaduto do Terminal de Petroleiros e principais compostos identificados.

Designação da amostra		Tipo de amostra e sua localização		Principais compostos identificados
TP1	TP1.1	Betão e revestimento superficial de viga transversal VT4	Revestimento	Ti, C
			Betão superficial	Silicatos e aluminatos de cálcio
TP2	TP2.1	Betão e revestimento superficial de viga transversal VT6	Revestimento	Ti, C Sulfato de bário (muito raro)
			Betão superficial	Silicatos e aluminatos de cálcio
TP5		Betão de viga longitudinal VL2 extraído ao longo da fissura	Revestimento	Silicatos e aluminatos de cálcio Ti Carbonato de cálcio (muito) Cloreto de sódio (com algumas figuras de dissolução) Gesso (com algumas figuras de dissolução) Óxido de ferro
			Betão	Silicatos e aluminatos de cálcio Carbonato de cálcio (muito) Brucite Cloreto de sódio (com algumas figuras de dissolução)
TP6		Betão de viga longitudinal VL2 na zona de fissuração aleatória	Revestimento	Silicatos e aluminatos de cálcio Ti, Ba
			Betão	Silicatos e aluminatos de cálcio Carbonato de cálcio (não se individualizaram cristais) Dolomite Cloreto de sódio (com algumas figuras de dissolução) Etringite
TP7		Betão de laje numa zona de manchas acastanhadas	Mancha acastanhada	Óxido de ferro
			Betão	Silicatos e aluminatos de cálcio Carbonato de cálcio Cloreto de sódio Brucite Etringite
TP8		Betão do encontro norte		Silicatos e aluminatos de cálcio Carbonato de cálcio (com algumas figuras de dissolução)
TP9		Estaca-prancha do encontro norte		Óxido de ferro

A observação e análise por MEV da amostra TP1 (viga VT4) revelaram um revestimento muito fragmentado, constituído por uma parte superficial mais rica em titânio e uma zona inferior mais rica em carbono. O betão superficial era de boa qualidade, não se tendo identificado carbonato de cálcio (Figura 3).

O revestimento das amostras, TP2 e TP4 (viga VT6), apresentava um esqueleto rico em carbono coberto por titânio e algumas partículas de sulfato de bário, mostrando-se claramente fissurado (Figura 4). O betão por baixo deste revestimento era de boa qualidade, apresentando-se não carbonatado.

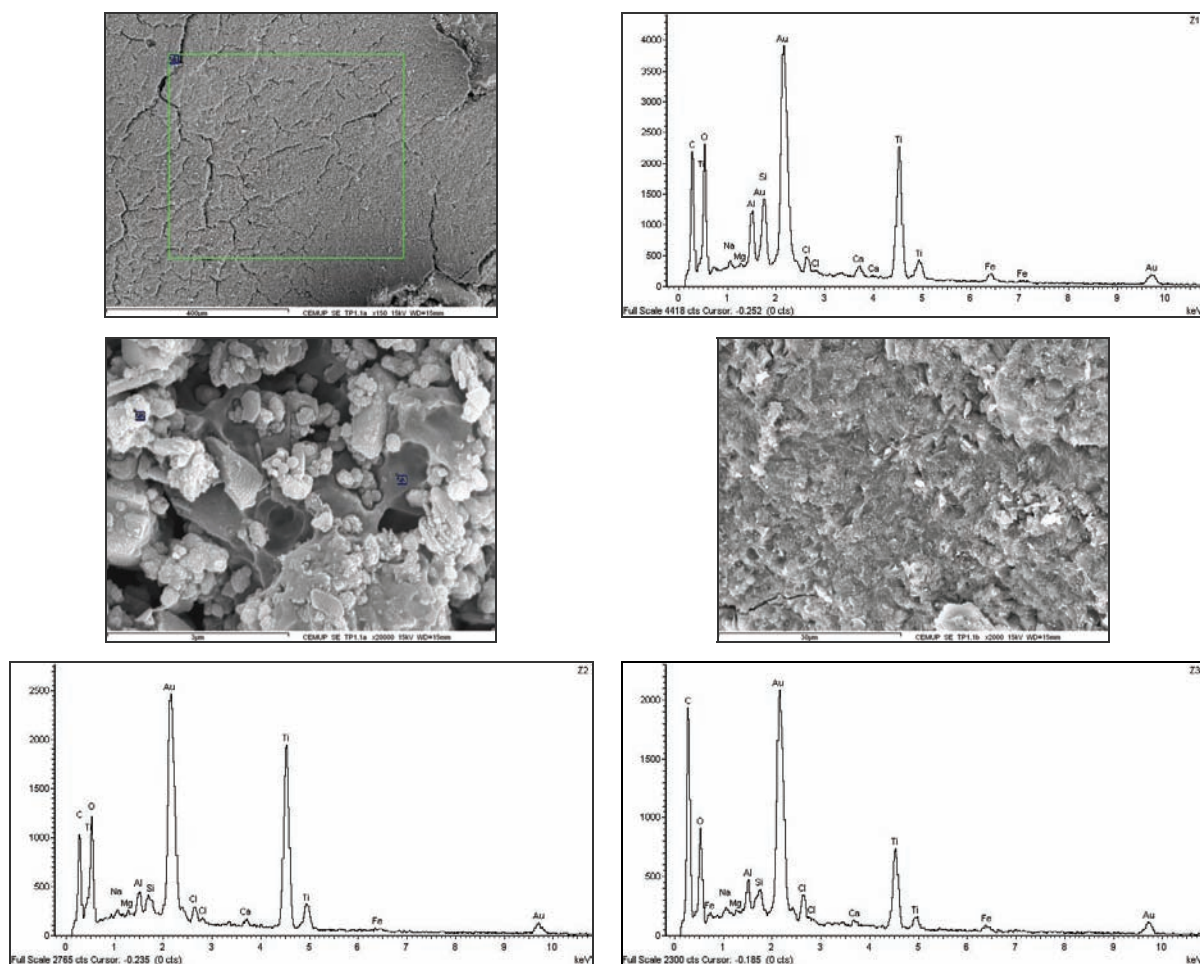
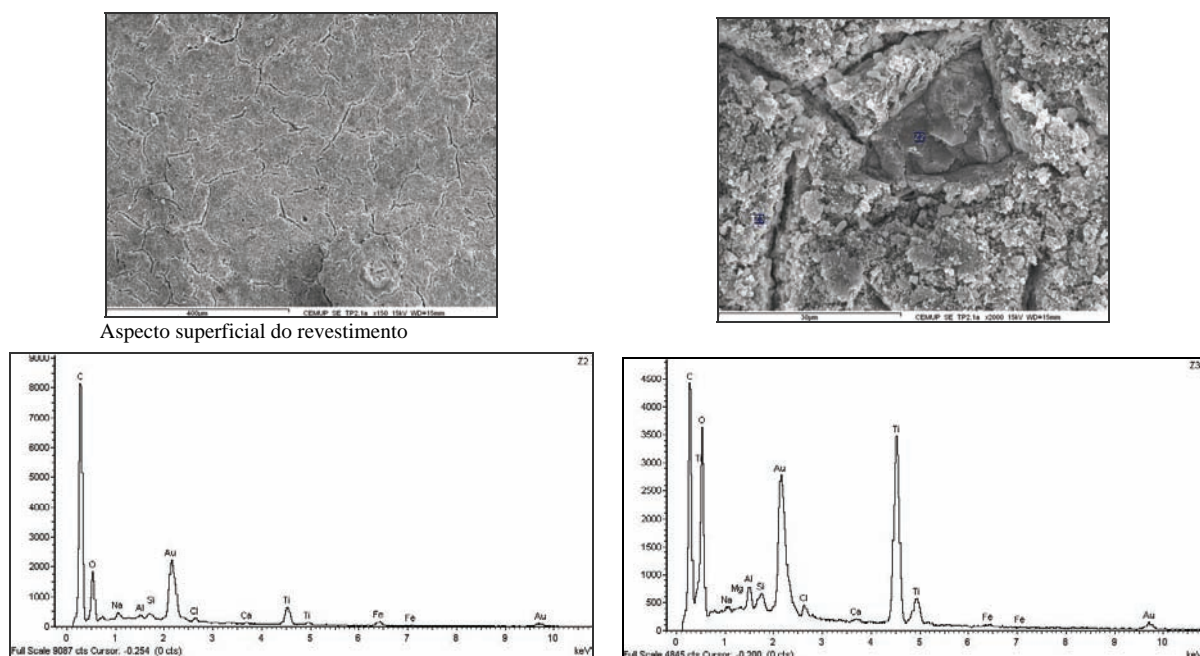


Figura 3 – Imagens e espectros da amostra TP1.



Aspecto superficial do revestimento

Figura 4 – Imagens e espectros do revestimento das amostras TP2.

A viga VL2 da estrutura superior, próxima do encontro sul, apresentava uma fissura muito aberta, ao longo do cabo de pré-esforço, e uma fissuração aleatória próxima dessa fissura. Retiraram-se amostras de betão junto da fissura com maior relevância, TP5, e na zona da fissuração aleatória, TP6, (Figura 2) para observar e analisar por MEV.

O estudo do revestimento do betão da viga, com cerca de 2mm de espessura, revelou ser constituído por uma argamassa cimentícia. A argamassa estava carbonatada e apresentava muitos cristais de cloreto de sódio e de gesso, por vezes, com figuras de dissolução. Exibiu também uma zona rica em óxido de ferro. Esta argamassa mostrou ser porosa, fragmentada e conter uma camada superficial rica em titânio (Figura 5).

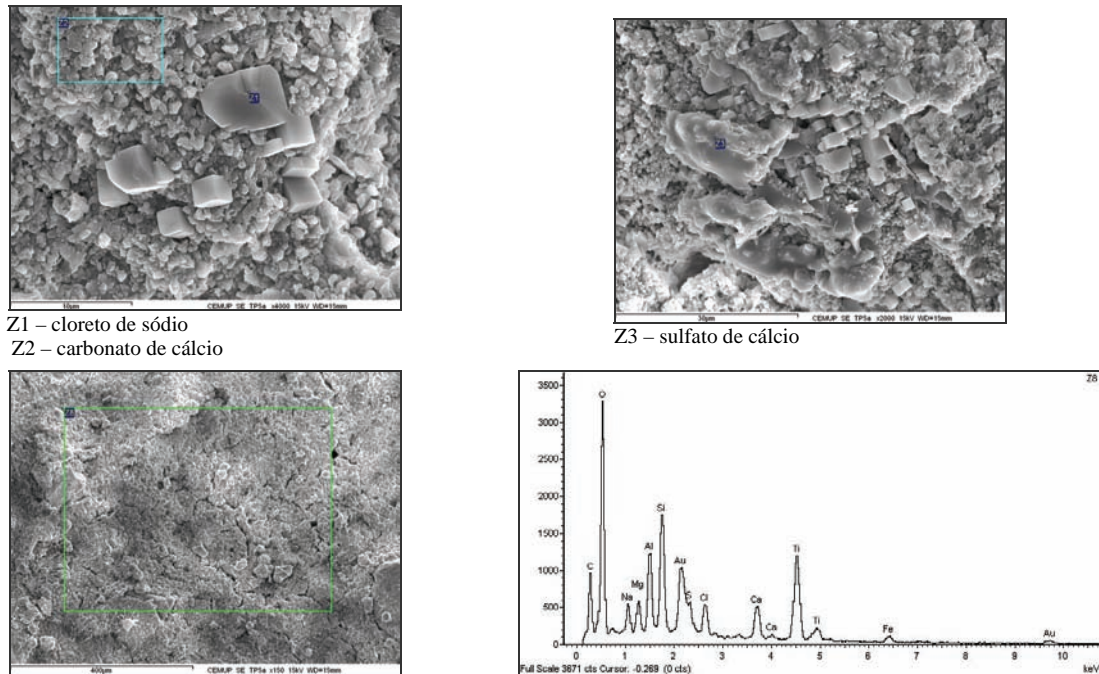


Figura 5 – Imagens e espectros do revestimento da amostra TP5.

O betão da amostra TP5 revelou ser rico em carbonato de cálcio, hidróxido de magnésio (brucite) e cloreto de sódio (Figura 6).

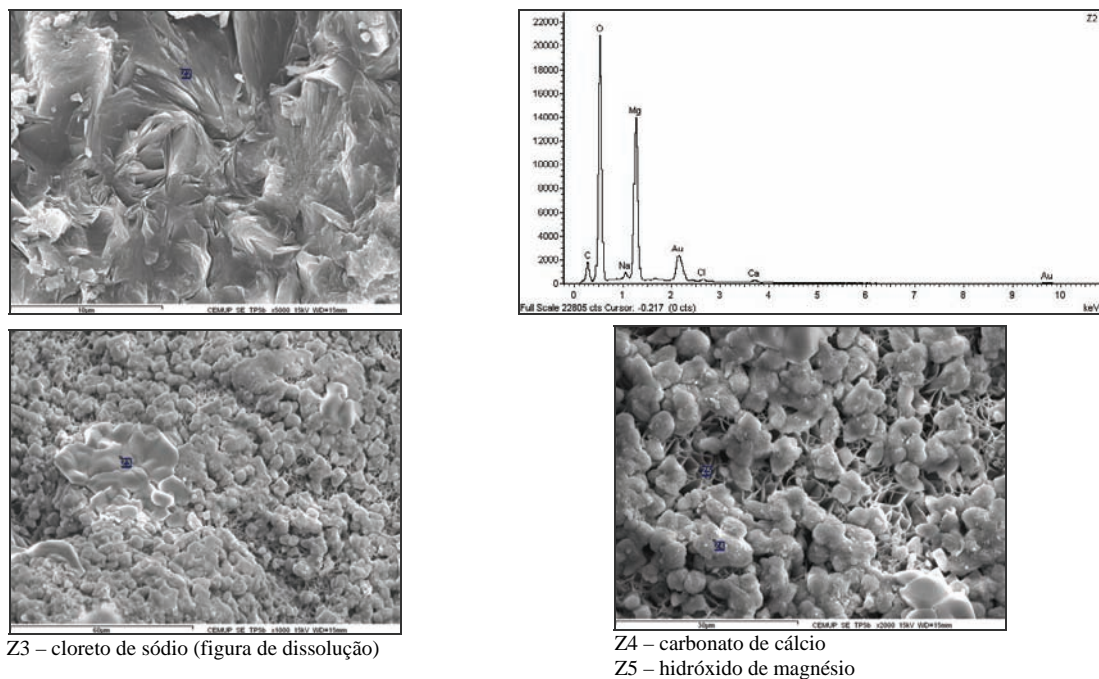


Figura 6 – Imagens e espectros do betão da amostra TP5.

A amostra TP6, retirada sobre uma zona de fissuração aleatória, apresentava um revestimento de argamassa cimentícia, com zonas superficiais muito ricas em titânio e esporadicamente algumas partículas ricas em bário.

O betão mostrou ser rico em carbonato de cálcio e carbonato duplo de cálcio e magnésio (dolomite), contendo também muito cloreto de sódio e etringite (Figura 7).

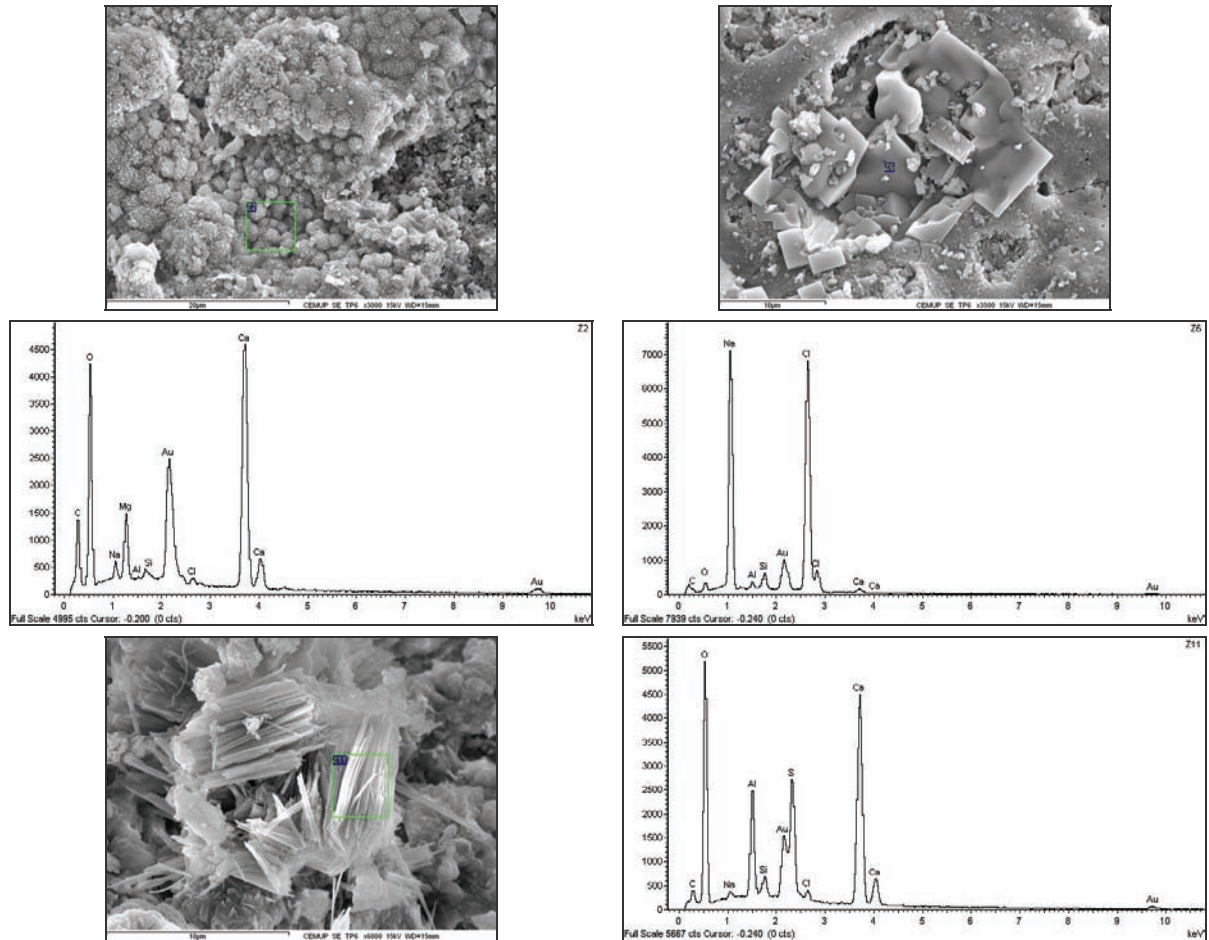


Figura 7 – Imagens e espectros da amostra TP6.

Foi retirada uma amostra de betão da laje do tabuleiro, TP7, próxima do encontro sul, numa zona bastante fissurada, contendo uma mancha acastanhada. A mancha revelou, por observação e análise por MEV, ser essencialmente constituída por óxidos de ferro. O betão mostrava cristais de carbonato de cálcio, de cloreto de sódio e de brucite em abundância, apresentando ainda uma zona muito extensa de poros preenchidos com etringite (Figura 8).

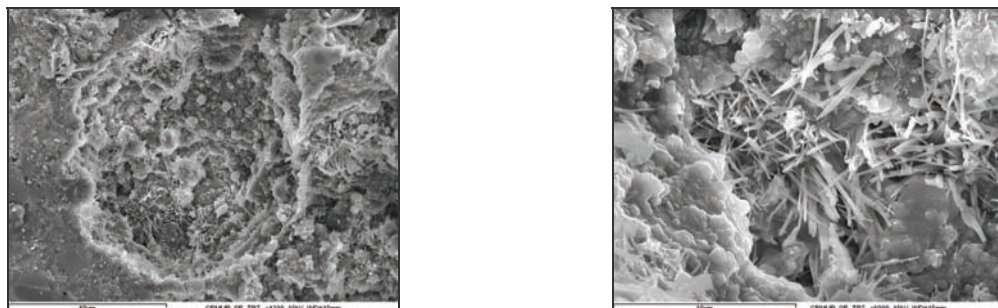
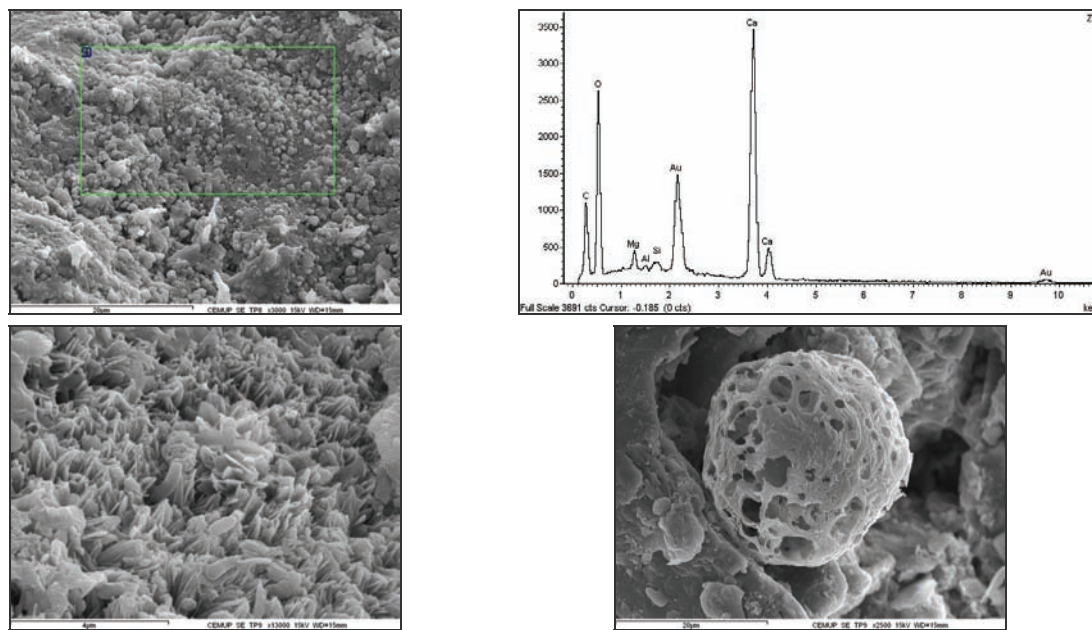


Figura 8 – Imagens de etringite da amostra TP7.

Extraíram-se do encontro norte, duas amostras, uma de betão, TP8, e outra da estaca-prancha, TP9.

O betão apresentava muito carbonatado de cálcio, por vezes, com figuras de dissolução. A amostra retirada da estaca-prancha era essencialmente constituída por óxidos de ferro, exibindo zonas ricas em cinzas volantes porosas (Figura 9).



Óxido de ferro

Cinza volante porosa

Figura 9 – Imagem e espectro de carbonato de cálcio da amostra TP8 e imagens da amostra TP9.

3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS

Foram analisados betões, aparentemente sem deteriorações e betões com degradações visíveis, assim como manchas. Estudaram-se ainda os revestimentos dos betões aplicados nas obras de reparação.

Apesar do número reduzido de amostras, os valores da resistência à compressão das carotes são semelhantes aos obtidos quando da realização da obra.

O valor da porosidade às 48 horas é compatível com um betão de boa qualidade.

Os valores da penetração da carbonatação e dos teores em cloretos, determinados em amostras de betão aparentemente não deteriorado das vigas transversais do viaduto, mostram que os revestimentos usados na reparação foram eficazes.

O tratamento das vigas transversais VT4 e VT6 do viaduto do Terminal de Petroleiros não era tão poroso, mas muito fragmentado (Figura 4) e o da viga longitudinal VL2 era muito poroso, com poros grandes, e fragmentado (Figura 5).

A análise global dos betões, aparentemente, sem deteriorações e dos quais se retiraram carotes, revelou que estes betões são de boa qualidade e compactos. As observações de carbonato de cálcio estão em todos os betões coerentes com os resultados do ensaio da profundidade de carbonatação.

O betão de zonas aparentemente não deterioradas do viaduto do Terminal de Petroleiros não mostrou nem carbonato de cálcio, nem qualquer reacção resultante de um ataque químico.

Extraiu-se ainda uma parte de betão do encontro norte do viaduto do Terminal de Petroleiros que não apresentava qualquer deterioração aparente, mas encontrava-se junto da estaca-prancha, aparentemente muito corroída. Este betão encontra-se em muito bom estado, embora revele estar sujeito à acção da água, uma vez que o carbonato de cálcio apresenta figuras de dissolução. Este betão retirado de uma zona não fissurada, apesar de superficial, não revelou nenhuma interacção com o ambiente além da carbonatação. Este facto, conjuntamente com as observações e ensaios realizados em amostras de betão aparentemente sem deteriorações, evidencia o papel da fissuração no desenvolvimento de reacções químicas no betão.

A estaca-prancha manifestava uma corrosão intensa, sendo a amostra quase que exclusivamente constituída por óxidos de ferro, circunstância que não é de estranhar, uma vez que a estaca é de aço situada numa zona de maré. As cinzas volantes que apareceram sobre os óxidos de ferro devem ter origem na poluição.

Além dos betões sem deteriorações visíveis, analisaram-se ainda betões aparentemente degradados, e manchas.

Os betões foram extraídos de zonas com destacamentos, de zonas com fissuras estruturais e de zonas com fissuração aleatória.

O betão extraído ao longo de uma fissura estrutural do viaduto do Terminal de Petroleiros, apresentava-se fortemente carbonatado, devido à abertura das fendas, que permitiu ainda a formação de outros produtos resultantes da acção da água do mar (brucite e cloreto de sódio). Este facto é comprovado por o betão das carotes, extraído de zonas sem fissuras, não apresentar carbonatação ou reacções químicas, embora os tratamentos aplicados nas duas zonas sejam diferentes, o das vigas transversais, aparentemente não deterioradas, uma pintura superficial rica em titânio e carbono e o da viga longitudinal, com fissura estrutural, uma argamassa cimentícia com uma pintura superficial rica em titânio. A corrosão generalizada das armaduras destas vigas poderá ser atribuída ou a uma corrosão por carbonatação ou a um excesso de teor em cloretos, tendo sido a penetração quer da carbonatação quer dos cloretos acelerada pela abertura das fendas e também, no caso da penetração de cloretos, devido ao facto deste viaduto se localizar sobre o mar.

Todos os betões com degradações do viaduto do Terminal de Petroleiros, revelaram forte interacção com a água do mar, apresentando brucite, cloreto de sódio, dolomite e etringite.

Todos os betões extraídos de destacamentos apresentavam grandes quantidades de calcite, encontrando-se portanto muito carbonatados. As manchas encontradas, junto destes betões, eram todas de óxidos de ferro, mostrando que os destacamentos têm origem na formação de produtos expansivos resultantes da corrosão das armaduras.

4. CONCLUSÃO

O viaduto do Terminal de Petroleiros apresenta um problema estrutural, com origem no excesso de tensões de compressão provocadas pelo cabo de pré-esforço no betão e que não são absorvidas por uma armadura passiva, não prevista no projecto original, causando a abertura de fendas. Assim, pensa-se que sem resolver o problema estrutural, as reparações estão à partida condenadas ao insucesso, facto reforçado pelo estado actual desta obra reparada há oito anos. Não se deve esquecer que pode ocorrer nesta obra uma corrosão sob tensão, uma vez que é uma obra em betão pré-esforçado inserida num ambiente muito agressivo. Este tipo de corrosão é particularmente gravoso, dado que a progressão de uma fissura é muito rápida, provocando a rotura brusca e frágil no metal.

No entanto, os tratamentos aplicadas na obra de reabilitação de 1995 do viaduto do Terminal de Petroleiros mostraram-se eficazes no que diz respeito à penetração de agentes agressivos em zonas de vigas de betão que actualmente não mostram avarias, o que evidencia que a penetração da carbonatação ou de cloretos, que estão na origem da corrosão generalizada desta obra, se faz preferencialmente pelas fissuras estruturais.

5. REFERÊNCIAS:

GEG. Beneficiação do Viaduto no Ante Porto do Terminal para Petroleiros – Projecto. Gabinete de Estruturas e Geotecnia. Porto, 1993.

GEG. **Terminal de Petroleiros – Projecto de Reabilitação das Estruturas de Betão.** Gabinete de Estruturas e Geotecnia. Porto, Portugal, 2005.

GONÇALVES, A. **Resistência do betão nas estruturas,** Tese apresentada a concurso para obtenção do grau de Especialista e para acesso à categoria de Investigador Auxiliar do LNEC. LNEC, Lisboa, Portugal, 1987. p. 369.

HAMMECKER, C. **Importance des transferts d’eaux dans la dégradation des pierres en oeuvre,** Tese de doutoramento. Université Louis Pasteur de Strasbourg, Strasbourg, 1993. p. 254.

MATOS, A. **Dimensionamento do reforço de infraestruturas de pontes – Casos práticos.** Curso de Formação Avançada – Infraescavação e durabilidade de pontes, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 2003. p.13.

MERTZ, J. **Structures de porosité et propriétés de transport dans les grès,** Tese de doutoramento, Université Louis Pasteur de Strasbourg. Sciences Géologiques., 90, Strasbourg, 1991. p. 149.

MOTA-MIRANDA, A. **Influência da Proximidade do Mar em Estruturas de Betão.** Dissertação Apresentada para a Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, Portugal, 2006. p. 204.

NP EN 12390-3. **Ensaio do betão endurecido. Parte 3: Resistência à compressão dos provetes de ensaio,** Instituto Português da Qualidade, 2003. p. 21.

RILEM. **Measurement of Hardened Concrete Carbonation Depth:** Recommendation CPC-18, Materials and structures. 21, nº.126. 1988. p.453-455.

LNEC. **Inertes para Argamassas e Betões – Determinação do Teor em Halogenetos.** LNEC Especificação E-253. Lisboa, Portugal, 1971.p. 2.